饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、氮代谢及氨基酸消化率的影响

张雪蕾[1]　崔　虎[2]　王　静[1]　李光玉[1]　王　峰[1*]　张铁涛[1*]

（1.中国农业科学院特产研究所，长春　130112；2.中国农业科学院饲料研究所，北京　100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、氮代谢及氨基酸消化率的影响。选取 60 只健康、体重[(0.83±0.09) kg]相近的（60±5）日龄雄性白水貂，随机分成 6 个组，每组 10 个重复，每个重复 1 只水貂。负对照组（Ⅰ组）饲喂粗蛋白质水平为 34%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.22%），试验组分别饲喂在负对照组基础饲粮中添加 0.1%（Ⅱ组）、0.3%（Ⅲ组）、0.5%（Ⅳ组）和 0.7%色氨酸（Ⅴ组）的试验饲粮，正对照组（Ⅵ组）饲喂粗蛋白质水平为 36%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.22%）。预试期 7 d，正试期 60 d。结果表明：1）各组水貂 60~120 日龄平均日增重和平均日采食量差异不显著（P>0.05），Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组平均日增重略高于其他各组。2）Ⅰ组干物质消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组（P<0.05）。Ⅴ组、Ⅵ组粗脂肪消化率显著高于Ⅳ组（P<0.05）。Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组尿氮显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅲ组氮沉积显著高于Ⅳ组（P<0.05）。Ⅲ组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值显著高于Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组（P<0.05）。3）Ⅰ组谷氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、脯氨酸消化率显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅵ组异亮氨酸消化率显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅵ组亮氨酸消化率显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅴ组丙氨酸消化率显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅵ组蛋氨酸消化率显著高于其他各组（P<0.05），Ⅰ组、Ⅳ组、Ⅴ组蛋氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组酪氨酸消化率显著高于Ⅲ组、Ⅳ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组半胱氨酸消化率显著高于Ⅳ组（P<0.05）。Ⅴ组组氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅲ组、Ⅵ组色氨酸消化率显著高于Ⅱ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组精氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组总氨基酸消化率显著高于Ⅲ组（P<0.05）。由此得出，综合生长性能、氮代谢及氨基酸消化

收稿日期：2017-05-02

基金项目：中国农科院基本科研业务费(1010342016033，1610342016033)

作者简介：张雪蕾（1991-），女，蒙古族，黑龙江齐齐哈尔人，硕士研究生，研究方向为特种经济动物饲养。E-mail: zhangxuelei1020@qq.com

*通信作者：王　峰，研究员，硕士生导师，E-mail: tcswf@126.com；张铁涛，副研究员，E-mail: zhangtietao@caas.cn

率指标，饲粮粗蛋白质水平为 34%时，水貂饲粮色氨酸适宜添加水平为 0.3%（饲粮色氨酸水平为 0.52%）。

关键词：育成期；水貂；色氨酸；生长性能；氮代谢；氨基酸消化率

中图分类号：S865.2+2

色氨酸对于动物来说，是一种特殊的必需氨基酸，Hokinst 于 1902 年从酪蛋白中分离出色氨酸，化学名称为 α-氨基-β-吲哚丙酸，有 *L* 型、*D* 型同分异构体和消旋体 *DL*-色氨酸[1]。在动物体内，色氨酸通过非共价键与血清蛋白结合，并参与核酸和蛋白质的合成。Wiertz 等[2]研究表明，当饲粮中色氨酸水平达到 0.20%时，试验猪肌肉内的核糖体活性增强，进而促进了其机体蛋白质的合成。除此之外，色氨酸还生成 5-羟色胺（5-HT）、烟酸、褪黑激素、色胺、血管紧张素、辅酶Ⅰ（NAD）、辅酶Ⅱ（NADP）等前体物质，具有多种生物活性[3]。5-HT 作用于下丘脑的采食中枢，对动物采食量发挥调节作用[1]。褪黑激素通过诱导巨噬细胞产生白细胞介素和干扰素，促进免疫细胞释放免疫因子，进一步调节免疫平衡[4]。饲粮中添加适宜水平色氨酸具有提高动物的采食量、调节泌乳功能、增强机体免疫力和抗氧化功能等作用。魏宗友等[5]报道，饲粮中添加适宜水平的色氨酸能够提高扬州鹅生长性能。Ohtani 等[6]报道，色氨酸水平为 0.15%的蛋鸡饲粮中再添加 0.025%、0.050%的色氨酸，显著提高了蛋鸡在 53~82 周龄期间的产蛋率和饲料利用率。饲粮色氨酸水平不足不仅会显著降低猪的平均日增重、饲料转化率和氮沉积，而且还会造成血浆胰岛素和胰岛素样生长因子-Ⅰ（IGF-Ⅰ）浓度的下降[7-9]。水貂是珍贵的毛皮动物，近些年关于水貂营养需要量的研究日益明确，但有关水貂色氨酸营养需要量的研究还未见报道。因此，本试验拟通过饲养试验和消化代谢试验，研究饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能、氮代谢及氨基酸消化率的影响，确定水貂的色氨酸需要量，为完善我国水貂饲养标准提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲养管理

本试验在中国农业科学院特产研究所动物试验基地进行。试验采用单因素随机试验设计，选取 60 只健康、体重[(0.83±0.09) kg]相近的（60±5）日龄雄性白水貂，随机分成 6 个组，每组 10 个重复，每个重复 1 只水貂。水貂基础饲粮的配制参照丹麦彩貂饲粮组成、营养成分表及国内近几年水貂营养需要量的研究[10-11]，其组成及营养水平见表 1。负对照组（Ⅰ组）饲喂粗蛋白质水平为 34%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.22%），试验组分别饲喂在负对

照组基础饲粮中添加 0.1%（Ⅱ组）、0.3%（Ⅲ组）、0.5%（Ⅳ组）和 0.7%色氨酸（Ⅴ组）的试验饲粮，正对照组（Ⅵ组）饲喂粗蛋白质水平为 36%的基础饲粮（色氨酸水平为 0.22%），试验设计见表 2。预试期 7 d，试验期 60 d。每日 07:30 与 14:30 各饲喂 1 次，自由采食，自由饮水。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

项目 Items	负对照组 Negative control group	正对照组 Positive control group
原料 Ingredients		
鸡肝 Chicken liver	12.50	11.75
黄花鱼 Yellow croaker	19.00	17.86
鸡头 Chicken head	6.00	5.64
鸡腺胃 Chicken glandular stomach	4.00	3.70
鸡骨架 Chicken skeleton	15.00	14.10
膨化玉米粉 Extruded corn meal	42.50	39.95
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00
鱼粉 Fish meal		6.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	15.61	15.40
粗蛋白质 CP	34.12	36.04
粗脂肪 EE	15.63	15.40
钙 Ca	2.37	2.21
总磷 TP	1.17	1.38
色氨酸 Trp	0.22	0.23

赖氨酸 Lys	1.42	1.45
蛋氨酸 Met	0.73	0.75

[1)]每千克预混料含有 Contained the following per kg of the premix:VA 1 000 000 IU，VD_3 200 000 IU，VE 18 000 IU，VB_1 500 mg，VB_2 1 000 mg，烟酸 niacin 4 000 mg，泛酸 pantothenic 4 000 mg，VB_6 1 000 mg，VB_{12} 10 mg，生物素 biotin 30 mg，叶酸 folic 300 mg，VK_3 200 mg，VC 50 000 mg，胆碱 choline 6 000 mg，Fe 10 000 mg，Cu 800 mg，Mn 2 000 mg，Zn 8 000 mg，I 50 mg，Se 20 mg，Co 50 mg。

[2)]粗蛋白质、粗脂肪、钙、总磷、色氨酸、赖氨酸、蛋氨酸为测定值，代谢能为计算值。CP, EE, Ca, TP, Trp, Lys and Met were measured values, while ME was a calculated value。

表 2　试验设计

Table 2　Experimental design　　%

项目 Items	组别 Groups					
	I (负对照 negative control）	II	III	IV	V	VI（正对照 positive control）
色氨酸添加水平 Trp supplemental level	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0
粗蛋白质水平 CP level	34	34	34	34	34	36

1.2　消化代谢试验

试验开始 42 d 后，每组挑选 6 只体重相近的水貂进行消化代谢试验，消化代谢试验时间为 2016 年 8 月 31 日至 2016 年 9 月 2 日，共计 3 d。采用全收粪法，消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，保存于－20 ℃备用。将 3 d 的粪便混合均匀于 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.3　测定指标及方法

试验开始时测定每只水貂的初始体重，每 15 d 称重 1 次，并记录数据，计算平均日采食量、平均体重和平均日增重。

基础饲粮中干物质含量采用 105 ℃烘干法测定，参照 GB/T 6435—2006；粗蛋白质含量采用杜马斯燃烧法测定，参照 ISO 16634-1:2008；粗脂肪含量采用索氏抽提法测定，参照 GB/T 6433—1994；钙含量采用乙二胺四乙酸(EDTA)络合滴定法测定，参照 GB/T 6436—1992；磷含量采用钒钼酸铵比色法测定，参照 GB/T 6437—1992。饲粮和粪便中的氨基酸含量采用盐酸水解法测定，参考 GB/T 5009.124—2003；色氨酸含量测定采用分光光度法测定，参照 GB/T 15400—94。测定数据指标的计算方法详见文献[12]。

1.4 数据处理

使用 SAS 9.1.3 进行数据统计分析，采用单因素方差分析（one-way ANOVA），$P<0.05$ 为差异显著，$P>0.05$ 为差异不显著。

2 结　果

2.1 饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能的影响

由表 3 可知，各组水貂平均日采食量差异不显著（$P>0.05$），但 I 组略高于其他组，Ⅳ组最低。60、75、90 日龄，各组水貂平均体重差异不显著（$P>0.05$）；105 日龄， I 组、II 组、III组水貂平均体重显著高于Ⅳ组、Ⅴ组（$P<0.05$），Ⅱ组水貂平均体重最高，Ⅳ组水貂平均体重最低；120 日龄，Ⅰ组、Ⅴ组水貂平均体重显著低于Ⅵ组（$P<0.05$）。60~75 日龄，Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组水貂平均日增重显著高于Ⅰ组、Ⅱ组、III组（$P<0.05$）；76~90 日龄，Ⅳ组水貂平均日增重显著高于Ⅴ组（$P<0.05$）；91~105 日龄，Ⅰ组、Ⅱ组、III组水貂平均日增重显著高于Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组（$P<0.05$）；106~120 日龄，Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组水貂平均日增重显著高于Ⅰ组、Ⅱ组、III组（$P<0.05$）。对于整个育成期（60~120 日龄），各组水貂平均日增重差异不显著（$P>0.05$），III组、Ⅳ组、Ⅵ组略高于其他各组。

表 3　饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能的影响

Table 3　Effects of dietary Trp supplemental level on growth performance of minks during growing period

日龄	组别 Groups	*P* 值

项目 Items	Day of age	I	II	III	IV	V	VI	*P*-value
平均日采食量 ADFI/(g/d)	60~120	386.00±38.30	371.44±35.98	356.89±47.37	354.94±52.91	370.72±25.35	370.28±31.10	0.780 6
平均体重 ABW/kg	60	0.84±0.08	0.83±0.08	0.83±0.10	0.83±0.09	0.83±0.10	0.84±0.08	1.000 0
	75	1.12±0.09	1.17±0.11	1.15±0.10	1.21±0.16	1.21±0.13	1.25±0.09	0.489 9
	90	1.38±0.08	1.40±0.11	1.37±0.10	1.42±0.15	1.37±0.12	1.46±0.14	0.615 6
	105	1.78±0.10^{ab}	1.86±0.12^{a}	1.83±0.10^{ab}	1.60±0.08^{d}	1.67±0.07^{cd}	1.74±0.14^{bc}	0.000 1
	120	1.93±0.06^{b}	2.01±0.14^{ab}	2.04±0.06^{ab}	2.00±0.16^{ab}	1.94±0.06^{b}	2.07±0.12^{a}	0.144 0
平均日增重 ADG/(g/d)	60~75	20.93±4.44^{b}	20.65±4.12^{b}	21.45±3.38^{b}	25.84±4.64^{a}	27.30±4.95^{a}	26.66±3.11^{a}	0.000 9
	76~90	15.01±3.24^{ab}	15.36±2.66^{ab}	15.10±2.92^{ab}	16.78±2.68^{a}	13.09±2.70^{b}	15.44±2.42^{ab}	0.260 8
	91~105	26.38±4.71^{a}	27.73±4.91^{a}	27.74±3.39^{a}	16.50±3.01^{b}	16.83±2.41^{b}	19.34±3.26^{b}	<0.001 0
	106~120	13.23±3.94^{b}	13.13±3.08^{b}	13.30±4.29^{b}	19.74±4.45^{a}	19.28±3.05^{a}	19.39±6.43^{a}	0.005 3
	60~120	17.59±1.97	18.19±3.41	18.77±2.16	18.79±2.21	17.73±1.88	19.64±1.68	0.440 0

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（***P***<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.2　饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂氮平衡和营养物质消化率的影响

由表 4 可知，各组食入氮和粪氮差异不显著（P>0.05）。Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组尿氮显著高于Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅲ组氮沉积显著高于Ⅳ组（P<0.05）。Ⅲ组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值显著高于Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组（P<0.05）。Ⅰ组干物质消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组（P<0.05）。各组粗蛋白质消化率差异不显著（P>0.05）。Ⅴ组、Ⅵ组粗脂肪消化率显著高于Ⅳ组（P<0.05），Ⅳ组粗脂肪消化率最低。

表 4　饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂氮代谢和营养物质消化率的影响

Table 4　Effects of dietary Trp supplemental level on nitrogen metabolism and nutrient digestibilities of minks during growing period

项目 Items	组别 Groups						P 值 P-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
食入氮 Nitrogen intake/（g/d）	8.07±0.80	7.77±0.75	7.46±0.98	7.43±1.09	7.75±0.54	8.25±0.69	0.465 2
粪氮 Fecal nitrogen/（g/d）	0.91±0.18	0.94±0.16	0.96±0.16	0.96±0.17	0.94±0.14	1.02±0.18	0.903 3
尿氮 Urine nitrogen/（g/d）	2.83±0.93[ab]	3.22±0.63[ab]	2.22±1.11[b]	3.74±0.86[a]	3.78±0.65[a]	3.91±1.43[a]	0.080 6
氮沉积 Nitrogen deposition/（g/d）	4.21±1.19[a]	3.60±1.12[ab]	4.26±1.05[a]	2.73±0.77[b]	3.04±0.62[ab]	3.32±1.37[ab]	0.143 7
净蛋白质利用率 NPU/%	52.95±12.53[ab]	45.78±10.92[ab]	57.65±11.76[a]	36.89±9.97[b]	39.23±7.71[b]	40.38±16.98[b]	0.069 4
蛋白质生物学价值 BV of protein/%	59.47±13.21[ab]	52.06±12.29[ab]	66.09±14.23[a]	42.25±10.67[b]	44.58±8.69[b]	46.00±19.07[b]	0.065 1
干物质消化率 DM digestibility/%	83.37±0.87[a]	81.37±1.64[b]	80.84±1.58[b]	80.61±1.69[b]	82.45±1.07[ab]	81.25±1.61[b]	0.032 9

粗蛋白质消化率 CP digestibility/%	88.71±1.71	87.91±1.27	87.08±1.28	87.02±1.70	87.97±0.98	87.22±1.44	0.285 7
粗脂肪消化率 EE digestibility/%	94.94±0.92[ab]	94.14±1.65[ab]	94.18±1.75[ab]	93.05±1.71[b]	95.31±1.78[a]	95.44±0.91[a]	0.095 5

2.4　饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂氨基酸消化率的影响

由表 5 可知，Ⅰ组谷氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、脯氨酸消化率显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅰ组、Ⅵ组异亮氨酸消化率显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅴ组丙氨酸消化率显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组半胱氨酸消化率显著高于Ⅳ组（$P<0.05$）。Ⅵ组蛋氨酸消化率显著高于其他各组（$P<0.05$），Ⅰ组、Ⅳ组、Ⅴ组蛋氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组精氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（P<0.05）。Ⅰ组、Ⅵ组亮氨酸消化率显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅰ组、Ⅴ组、Ⅵ组酪氨酸消化率显著高于Ⅲ组、Ⅳ组（$P<0.05$）。Ⅴ组组氨酸消化率显著高于Ⅱ组、Ⅲ组（$P<0.05$）。Ⅰ组、Ⅲ组、Ⅵ组色氨酸消化率显著高于Ⅱ组（$P<0.05$）。各组间天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、甘氨酸和缬氨酸消化率差异不显著（$P>0.05$）。Ⅰ组总氨基酸消化率显著高于Ⅲ组（$P<0.05$）。

表 5　饲粮色氨酸水平对育成期水貂氨基酸消化率的影响

Table 5　Effects of dietary Trp supplemental level on amino acid digestibilities of minks during growing period　　%

项目 Items	组别 Groups						*P* 值 *P*-value
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	
天冬氨酸 Asp	92.60±0.87	91.70±1.08	91.83±1.21	91.52±0.62	92.37±0.64	91.60±1.23	0.311 0
苏氨酸 Thr	90.98±0.97	89.67±1.48	89.69±1.34	89.77±1.02	90.16±0.98	90.63±1.27	0.307 8
丝氨酸 Ser	92.65±0.83	91.36±1.26	91.57±0.94	91.66±0.72	92.32±0.69	92.35±1.27	0.163 2
谷氨酸 Glu	94.64±0.44[a]	94.13±0.53[ab]	93.77±0.49[b]	94.10±0.42[ab]	94.34±0.44[ab]	94.04±0.70[ab]	0.104 4

甘氨酸 Gly	89.19±1.02	88.32±1.19	87.98±1.19	88.48±1.02	89.47±1.08	88.36±1.60	0.263 2
丙氨酸 Ala	93.06±0.53^{ab}	92.65±0.62^{ab}	92.14±0.73^{b}	92.65±0.68^{ab}	93.30±0.72^{a}	92.51±0.83^{ab}	0.098 4
半胱氨酸 Cys	93.30±1.81^{a}	92.55±1.71^{ab}	92.43±0.65^{ab}	90.96±1.41^{b}	93.01±1.48^{a}	93.52±1.37^{a}	0.058 9
缬氨酸 Val	93.80±0.48	93.51±0.69	93.05±0.59	93.29±0.63	93.79±0.63	93.11±0.74	0.191 5
蛋氨酸 Met	89.78±1.18^{b}	85.15±1.87^{c}	86.17±1.86^{c}	89.66±1.30^{b}	88.61±1.83^{b}	92.22±1.89^{a}	<0.000 1
异亮氨酸 Ile	94.24±0.57^{a}	93.79±0.76^{ab}	93.40±0.50^{b}	93.90±0.61^{ab}	94.28±0.57^{a}	93.87±0.62^{ab}	0.173 4
亮氨酸 Leu	95.15±0.52^{a}	94.40±0.78^{ab}	94.21±0.45^{b}	94.61±0.51^{ab}	94.77±0.34^{ab}	94.99±0.77^{a}	0.080 0
酪氨酸 Tyr	95.64±0.77^{a}	94.96±0.61^{ab}	94.59±0.75^{b}	94.31±0.63^{b}	95.60±0.52^{a}	95.50±0.80^{a}	0.007 0
苯丙氨酸 Phe	95.59±0.51^{a}	94.84±0.73^{ab}	94.74±0.55^{b}	94.92±0.50^{ab}	95.49±0.29^{ab}	95.19±0.77^{ab}	0.077 8
赖氨酸 Lys	96.14±0.45^{a}	95.49±0.63^{ab}	95.40±0.48^{b}	95.54±0.43^{ab}	96.05±0.25^{ab}	95.84±0.67^{ab}	0.068 5
组氨酸 His	94.57±0.98^{ab}	93.40±1.21^{b}	93.44±0.83^{b}	94.02±0.60^{ab}	95.15±0.35^{a}	94.29±1.17^{ab}	0.016 7
精氨酸 Arg	93.76±0.73^{a}	92.52±1.15^{b}	92.59±0.75^{b}	93.10±0.57^{ab}	93.90±0.59^{a}	93.70±1.10^{a}	0.021 9
脯氨酸 Pro	94.72±0.41^{a}	94.32±0.50^{ab}	94.00±0.51^{b}	94.26±0.39^{ab}	94.56±0.43^{ab}	94.32±0.66^{ab}	0.200 8
色氨酸 Trp	97.70±0.91^{a}	95.88±1.04^{b}	97.80±1.45^{a}	97.33±0.75^{ab}	97.26±1.14^{ab}	97.83±1.19^{a}	0.053 7
总氨基酸 Total amino acid	93.73±0.54^{a}	92.99±0.80^{ab}	92.79±0.64^{b}	93.08±0.54^{ab}	93.60±0.52^{ab}	93.28±0.88^{ab}	0.147 7

3 讨 论

3.1 饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂生长性能的影响

色氨酸作为动物体的必需氨基酸，适量添加对生长性能有促进作用。有研究表明，色氨酸通过影响脑中神经递质 5-HT 和调控胃肠调节肽——胃饥饿素（ghrelin）的分泌来影响动物的采食量[3]。马玉娥等[13]研究报道，在基础饲粮中添加不同水平的色氨酸能够显著提高肉种鸡的平均日采食量。色氨酸通过提高动物大脑中 5-HT 的含量提高仔猪采食量，摄食高色氨酸水平饲粮的仔猪生长性能好于摄食低色氨酸水平饲粮的仔猪[14]。本试验结果表明，色氨酸添加水平对平均日采食量影响不显著，Ⅰ组、Ⅳ组平均日采食量略高，可能由于基础饲

粮色氨酸水平较高，对采食量的促进作用不显著。随着水貂日龄的增长，受色氨酸添加水平的影响逐渐显现，106~120 日龄时，Ⅱ组、Ⅲ组、Ⅳ组、Ⅵ组平均体重相近。从整体趋势可知，随着色氨酸添加水平的提高，水貂的平均体重逐渐增长，当达到添加水平达到 0.5%后，平均体重降低，说明适宜的色氨酸添加水平可提高动物体的生长性能，过量添加则会抑制动物生长。试验组与正对照组相比较可知，高蛋白质水平对水貂生长性能有促进作用，而适宜的色氨酸添加水平可以降低水貂蛋白质的需要量。

3.2 饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂氮平衡及营养物质消化率的影响

本试验结果表明，各组平均日采食量无显著差异，Ⅰ组略高，Ⅰ组食入氮也略高于其他组，Ⅵ组饲粮蛋白质水平高，所以食入氮相对高一点，但各组食入氮和粪氮差异不显著。由于Ⅳ组、Ⅴ组、Ⅵ组尿氮增多，导致氮沉积、净蛋白质利用率以及蛋白质生物学价值降低，Ⅳ组、Ⅴ组可能是由于色氨酸添加水平过高，氨基酸失去平衡；Ⅵ组则由于蛋白质供应过量，摄入的蛋白质与尿氮排出之间存在相关关系。Pfeiffer 等[15]也证实蛋白质供应过量及氨基酸不平衡是导致大量尿氮排出和氮利用效率变化的原因，并且在饲粮中添加色氨酸增加机体内氮沉积，减少粪便中含氮代谢物的排放，从而减轻养殖废弃物对环境造成的污染[3]。色氨酸可以调节动物肝脏蛋白质的合成[16]，国外有报道，随着饲粮色氨酸水平的提高，猪的蛋白质沉积显著提高[17-18]。吴维辉等[19]、Corzo 等[20]和席棚彬等[21]也证实，饲粮中补充适量氨基酸改善了氨基酸平衡，从而使体内蛋白质合成代谢速度大于分解速度，提高蛋白质的沉积效率。张铁涛等[22]研究表明，80~110 日龄，水貂适宜的蛋白质水平为 34%。本试验中，各组蛋白质的消化率差异不显著。在色氨酸水平相同的情况下，Ⅰ组粗蛋白质消化率高于Ⅵ组，这可能由于Ⅵ组饲粮蛋白质水平超过适宜水平，降低了消化率。水貂饲粮蛋白质水平达到34%以上能够提高脂肪的消化率，本试验受饲粮蛋白质水平的影响，Ⅵ组粗脂肪消化率最高。色氨酸具有调控动物脂肪代谢的重要功能[21]，本试验中色氨酸添加水平最高的Ⅴ组的粗脂肪消化率显著高于其他试验组，与Ⅵ组粗脂肪消化率相近，由此可知，添加适宜水平色氨酸有助于脂肪消化吸收。

3.3 饲粮色氨酸添加水平对育成期水貂氨基酸消化率的影响

本试验结果表明，Ⅰ组总氨基酸消化率最高，显著高于Ⅲ组，这可能是受粗蛋白质消化率和干物质消化率的影响。Ⅰ组总氨基酸消化率略高于Ⅵ组，说明饲粮蛋白质水平过高会影响氨基酸的消化吸收。Wu 等[23]研究发现，色氨酸的吸收与精氨酸拮抗。本试验中，Ⅱ组

~Ⅴ组随着色氨酸添加水平的升高，精氨酸的消化率逐渐增长，说明色氨酸和精氨酸之间存在正相关关系，色氨酸的消化率与精氨酸有相同的趋势；Ⅰ组与Ⅵ组精氨酸消化率接近，说明高饲粮蛋白质水平不能促进精氨酸的吸收。研究发现，饲粮中色氨酸和赖氨酸的比值达到22%时，仔猪的生长性能最优[24]。本试验中，色氨酸与赖氨酸的比值达 36%时，雄性水貂生长性能最好。在中性氨基酸中，对于脂肪族氨基酸（甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸），饲粮色氨酸添加水平的对丙氨酸、亮氨酸和异亮氨酸消化率有一定影响，本试验结果表明，Ⅲ组 3 种脂肪族氨基酸（丙氨酸、亮氨酸和异亮氨酸）的消化率最低，减少色氨酸的添加水平，3 种氨基酸的消化率有小幅升高；增加色氨酸添加水平，3 种氨基酸的消化率明显提高。亮氨酸与异亮氨酸互为同分异构体，色氨酸对其消化率影响一致。对于芳香族氨基酸（苯丙氨酸、酪氨酸）、含硫氨基酸（蛋氨酸）、杂环氨基酸（脯氨酸）及酸性氨基酸(谷氨酸)，色氨酸对这些氨基酸的影响和脂肪族氨基酸影响相一致。本试验中随着色氨酸添加水平的增加，脯氨酸消化率先降低后升高，Ⅲ组脯氨酸消化率最低，而Ⅲ组色氨酸消化率达到最高，脯氨酸与色氨酸同为杂环状氨基酸，两者之间可能存在拮抗作用。综上可知，色氨酸水平为 0.22%时，对氨基酸及蛋白质营养物质消化吸收是有利的，满足氨基酸木桶理论的需求，当色氨酸水平为 0.52%（色氨酸添加水平为 0.3%）时，破坏氨基酸平衡，多种氨基酸消化率降低。色氨酸水平超过 0.52%后，氨基酸消化率得到提高，色氨酸作为动物体所必需的限制性氨基酸发挥了一定作用，其中的调控机理有待进一步探讨。

4　结　论

本试验条件下，综合生长性能、氮代谢及氨基酸消化率指标，饲粮粗蛋白质水平为 34%时，水貂饲粮色氨酸适宜添加水平为 0.3%（饲粮色氨酸水平为 0.52%）。

参考文献：

[1] 李剑欣,张绪梅,徐琪寿.色氨酸的生理生化作用及其应用[J].氨基酸和生物资源,2005,27(3):58–62.

[2]WIERTZ F G M,RICHTER O M H,CHEREPANOV A V, et al.An oxo - ferryl tryptophan radical catalytic intermediate in cytochromec and quinol oxidases trapped by microsecond freeze - hyperquenching[J].FEBS Letters,2004,575(1/2/3):127–130.

[3] 李华伟,祝倩,吴灵英,等.色氨酸的生理功能及其在畜禽饲粮中的应用[J].动物营养学报,2016,28(3):659–664.

[4] 白苗苗,刘红南,吴信,等.饲粮中色氨酸对畜禽的免疫调节作用[J].动物营养学报,2016,28(2):361–368.

[5] 魏宗友,王洪荣,潘晓花,等.饲喂方式和饲粮色氨酸水平对扬州鹅免疫功能及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(12):2356–2365.

[6]OHTANI H,SAITOH S,OHKAWARA H,et al.Research note:production performance of laying hens fed L-tryptophan[J].Poultry Science,1989,68(2):323–326.

[7]SÈVE B,MEÜNIER-SALAǗ N M C,MONNIER M,et al.Impact of dietary tryptophan and behavioral type on growth performance and plasma amino acids of young pigs[J].Journal of Animal Science,1991,69(9):3679–3688.

[8]CORTAMIRA N O,SÈVE B,LEBRETON Y,et al.Effect of dietary tryptophan on muscle,liver and whole-body protein synthesis in weaned piglets:relationship to plasma insulin[J].British Journal of Nutrition,1991,66(3):423–435.

[9] KIMBALL S R,VARY T C,JEFFERSON L S.Regulation of protein synthesis by insulin[J].Annual Review of Physiology,1994,56(1):321–348.

[10] 张铁涛,张志强,任二军,等.饲粮蛋白质水平对育成期水貂营养物质消化率及生长性能的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):1101–1106.

[11] 杨颖,李一清,徐佳萍,等.饲粮能量水平对育成期水貂生长性能和血清生化指标的影响[J].特产研究,2014(2):9–14.

[12] 张铁涛,张志强,高秀华,等.冬毛生长期公貂对不同蛋白质水平日粮营养物质消化率及氮代谢的比较研究[J].动物营养学报,2010,22(3):723–728.

[13] 马玉娥,占秀安,朱巧明,等.饲粮色氨酸水平对黄羽肉种鸡生产性能、抗氧化功能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2177–2182.

[14] 张巍,周樱.色氨酸对仔猪营养及生理作用的影响[J].单胃动物营养,2006(8):37–38

[15]PFEIFFER A,HENKEL H ,VERSTEGEN M A .The influence of protein in take on water balance,flow rate and apparent digestibilty of nutrition at the distal ileum in growing pigs[J].Livestock Product Science,1995,44(2):179–187.

[16] LEUCHTENBERGER W,HUTHMACHER K,DRAUZ K,et al.Biotechnological production of amino acids and derivatives:current status and prospects[J].Applied Microbiology and Biotechnology,2005,69(1):1–8.

[17] SAWADOGO M L,PIVA A,PANCIROLI A,et al.Marginal efficiency of free or protected crystalline L-tryptophan for tryptophan and protein accretion in early-weaned pigs[J].Journal of Animal Science,1997,75(6):1561–1568.

[18] YIN J D,PIAO X S,PIAO X S,et al.Regulation of insulin-like growth factor-1 and growth hormone receptor gene expression in weaned pigs fed graded levels of dietary tryptophan[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2004,3(8):490–496.

[19] 吴维辉,蒋宗勇,林映才,等.肉仔鸡可消化色氨酸需求参数研究[J].动物营养学报,1999,11(2):45–48.

[20]CORZO A,MORAN E T,Jr,HOEHLER D,et al.Dietary tryptophan need of broiler males from forty-two to fifty-six days of age[J].Poultry Science,2005,84(2):226–231.

[21] 席棚彬,林映才,蒋宗勇,等.饲粮色氨酸对 43~63 日龄黄羽肉鸡生长、胴体品质、体成分沉积及下丘脑 5 羟色胺的影响[J].动物营养学报,2009,21(2):137–145.

[22]张铁涛,张志强,任二军,等.不同蛋白质水平日粮对不同日龄育成期公貂(*Mstula vision*)生长性能与消化代谢规律的影响[J].畜牧兽医学报,2011,42(10):1387–1395.

[23] WU G Y,KNABE D A,KIM S W.Arginine nutrition inneonatal pigs[J].Journal of Nutritional,2004,134(10):2783S–2790S.

[24] 蒋志荣,石敏.仔猪色氨酸研究新进展[J].饲料工业,2009,30(3):6–10.

Effects of Dietary Tryptophan Supplemental Level on Growth Performance, Nitrogen Metabolism and Amino Acid Digestibility of Minks during Growing Period

ZHANG Xuelei[1] CUI Hu[2] WANG Jing[1] LI Guangyu[1] WANG Feng[1*] ZHANG Tietao[1*]

(1. *Institute of Economic Animal and Plant Science*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Changchun* 130112, *China*; 2. *Institute of Feed Research*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This study was conducted to study the effects of dietary tryptophan (Trp) supplemental level on growth performance, nitrogen metabolism and amino acid digestibility of minks during growing period. Sixty healthy male white minks at the age of 60 days with similar body weight [(0.83±0.09) kg] were randomly divided into 6 groups with 10 replicates per group and 1 mink per replicate. Minks in the negative control group (group Ⅰ) were fed a basal diet (crude protein level was 34%, Trp level was 0.22%), minks in the experimental groups were fed the basal diets supplemented with 0.1% (group Ⅱ), 0.3% (group Ⅲ), 0.5% (group Ⅳ), 0.7% Trp (group Ⅴ), respectively, and minks in the positive control group (group Ⅵ) were fed a basal diet (crude

protein level was 36%, Trp level was 0.22%). The pretest period lasted for 7 days and the trial lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) the average daily gain and average daily feed intake of minks during 60 to 120 days of age had no significant difference among all groups (P>0.05), the average daily gain of groups Ⅲ, Ⅳ, Ⅵ was higher than that of other groups. 2) The dry matter digestibility of group Ⅰ was significantly higher than that of groups Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ and Ⅵ （P<0.05）. The ether extract digestibility of groups Ⅴ and Ⅵ was significantly higher than that of group Ⅳ (P<0.05). The urine nitrogen of groups Ⅳ, Ⅴ and Ⅵ was significantly higher than that of group Ⅲ (P<0.05). The nitrogen deposition of groups Ⅰ and Ⅲ was significantly higher than that of group Ⅳ (P<0.05). The net protein utilization and biological value of protein of group Ⅲ was significantly higher than that of groups Ⅳ, Ⅴ and Ⅵ (P<0.05). 3) The digestibilities of glutamate, phenylalanine, lysine and proline of group Ⅰ were significantly higher than those of group Ⅲ (P<0.05). The isoleucine digestibility of groups Ⅰ and Ⅵ was significantly higher than that of group Ⅲ (P<0.05). The leucine digestibility of groups Ⅰ and Ⅵ was significantly higher than that of group Ⅲ (P<0.05). The alanine digestibility of group Ⅴ was significantly higher than that of group Ⅲ (P<0.05). The methionine digestibility of group Ⅵ was significantly higher than that of other groups （P<0.05）, and the methionine digestibility of groups Ⅰ, Ⅳ and Ⅴ was significantly higher than that of groups Ⅱ and Ⅲ (P<0.05). The tyrosine digestibility of groups Ⅰ, Ⅴ and Ⅵ was significantly higher than that of groups Ⅲ and Ⅳ (P<0.05). The cysteine digestibility of groups Ⅰ, Ⅴ and Ⅵ was significantly higher than that of groups Ⅳ (P<0.05). The histidine digestibility of group Ⅴ was significantly higher than that of groups Ⅱ and Ⅲ (P<0.05). The Trp digestibility of groups Ⅰ, Ⅲ and Ⅵ was significantly higher than that of group Ⅱ (P<0.05). The arginine digestibility of groups Ⅰ, Ⅴ and Ⅵ was significantly higher than that of groups Ⅱ and Ⅲ (P<0.05). The total amino acid digestibility of group Ⅰ was significantly higher than that of group Ⅲ (P<0.05). In conclusion, comprehensive considers the growth performance, nitrogen metabolism and amino acid digestibility indices, when dietary crude protein level is 34%, the dietary suitable Trp supplemental level for minks is 0.3% (dietary Trp level is 0.52%).

Key words: growing period; minks; tryptophan; growth performance; nitrogen metabolism; amino acid digestibility

---

*Corresponding authors: WANG Feng, professor, E-mail： tcswf@126.com; ZHANG Tietao, associate professor, E-mail： zhangtietao@caas.cn （责任编辑 武海龙）